

**MÉTODOS INDIRETOS PARA AVALIAR A PERDA DE RENDIMENTO DO  
BRANQUEAMENTO DE POLPA KRAFT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2012**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

G633m  
2012

Gomes, Regina Maria, 1986-

Métodos indiretos para avaliar a perda de rendimento do  
branqueamento de polpa Kraft / Regina Maria Gomes.

– Viçosa, MG, 2012.

viii, 32f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Jorge Luiz Colodette.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 23-24

1. Madeira - Produtos. 2. Celulose. 3. Polpa de madeira -  
Branqueamento. 4. Efluentes. I. Universidade Federal de  
Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.98611

REGINA MARIA GOMES

**MÉTODOS INDIRETOS PARA AVALIAR A PERDA DE RENDIMENTO  
DO BRANQUEAMENTO DE POLPA KRAFT**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós- Graduação em  
Ciência Florestal, para obtenção  
do título de Magister Scientiae.

APROVADA em: 11 de maio de 2012.

  
Teresa Cristina Fonseca da Silva

  
Hélio Garcia Leite  
(Coorientador)

  
Jorge Luiz Colodette  
(Orientador)

A Deus...

Aos meus pais Edmar e Dinair.

Ao meu irmão Edinaldo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais e ao meu irmão, pelo apoio e orações.

Aos meus familiares, por todo incentivo, em especial à minha avó, Dona Regina Gonçalves (*in memorian*), pelas lições de perseverança deixadas.

Aos amigos o meu muito obrigado pela convivência e pela força nos momentos difíceis, em especial aos amigos de Viçosa.

Aos mestres, pelos ensinamentos, em especial ao professor Jorge Colodette pela orientação e ao professor Hélio Garcia pela ajuda e co-orientação.

À CAPES, pela concessão do apoio financeiro na forma de bolsa.

A todos, que de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial aos meus estagiários.

## **BIOGRAFIA**

REGINA MARIA GOMES, filha de Edmar Gomes da Mota e Dinair Gomes da Silva, nasceu em 09 de fevereiro de 1986, em Várzea da Palma, Minas Gerais, Brasil.

Em 2003, concluiu o 2º grau, no Colégio Cenecista de Várzea da Palma, em Várzea da Palma, Minas Gerais.

Em 2004, iniciou o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri, em Diamantina. Em 2006, transferiu-se para a Universidade Federal de Viçosa, onde concluiu o curso em dezembro de 2008

Em agosto de 2009, iniciou o curso de pós-graduação no nível de Mestrado Stricto Sensu em Ciência Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, sendo o mesmo concluído em maio de 2012.

## SUMÁRIO

Resumo .....	vi
Abstract.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
2.1. Polpa utilizada .....	3
2.2 - Deslignificação com oxigênio (Pré-O <sub>2</sub> ). .....	3
2.3. Branqueamento .....	4
2.4 - Procedimentos Analíticos.....	6
2.5 - Análise estatística.....	7
2.5.1 – Perda de rendimento na deslignificação com oxigênio (Pré-O <sub>2</sub> ).....	7
2.5.2 – Perda de rendimento do branqueamento .....	7
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	9
3.1 - Perda de Rendimento na deslignificação com oxigênio (Pré-O <sub>2</sub> ).....	9
3.2 - Perda de Rendimento do branqueamento D*(EP)D.....	11
3.2.1 - Influencia dos diferentes fatores Kappa (FK) empregados no estágio inicial de dióxido de cloro à quente (D*) sobre a perda de rendimento.....	11
3.2.2 - Influência da temperatura empregada no estágio (EP) - extração alcalina com peróxido de hidrogênio- sobre a perda de rendimento. ....	13
3.2.3 - Influência da temperatura empregada no estágio final com dióxido de cloro (D) sobre a perda de rendimento .....	16
3.2.4. Análise da perda de rendimento total da sequência de branqueamento D*(EP)D .	19
4. CONCLUSÕES .....	22
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	23
APÊNDICES .....	25

## Resumo

GOMES, Regina Maria; M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2012. **Métodos indiretos para avaliar a perda de rendimento do branqueamento de polpa kraft.** Orientador: Jorge Luiz Colodette. Coorientador: Hélio Garcia Leite.

O processo de branqueamento de polpa celulósica tem por objetivo remover ou transformar os grupos cromóforos da polpa, de modo que o produto final atinja uma desejada alvura, mas o branqueamento causa uma inevitável perda de rendimento. Assim sendo, este trabalho foi realizado com a proposta da utilização do teor de sólidos dissolvidos (SD), da demanda química de oxigênio (DQO) e do carbono orgânico total (TOC) dos filtrados de cada estágio de branqueamento como técnicas indiretas para quantificar a perda de rendimento. Utilizou-se polpas industriais de *Eucalyptus* spp. (polpa marrom e polpa deslignificada com oxigênio). A polpa industrial marrom de *Eucalyptus* spp. foi utilizada para a análise do rendimento da deslignificação com oxigênio. A polpa industrial deslignificada com oxigênio de *Eucalyptus* spp. foi submetida à sequência de branqueamento D\*(EP)D, sendo o estágio D\* realizado com cinco fatores kappa (0,12; 0,16; 0,20; 0,24; 0,28). Os estágios (EP) e D foram realizados em duas temperaturas (75 ° C e 90°C). Os rendimentos gravimétricos de cada estágio de branqueamento foram determinado e foi calculado o rendimento total do branqueamento. Os filtrados de cada estágio e dos filtrados combinados de cada sequência foram avaliados pelas técnicas de SD, DQO e TOC. Realizou-se teste de identidade de modelos com as equações de regressão obtidas a fim de se avaliar a correlação entre as técnicas e a também se avaliar a influência das condições empregadas em cada estágio da sequencia na perda de rendimento. Pela análise dos resultados foi possível concluir que as três técnicas propostas podem ser utilizadas para a determinação indireta da perda de rendimento, sendo o SD e o TOC as técnicas mais indicadas para a determinação da perda de rendimento na Pré-O<sub>2</sub> e no branqueamento D\*(EP)D, respectivamente. Cada uma unidade percentual de SD corresponde a 2,19% de perda de rendimento na Pré-O<sub>2</sub>. Cada unidade de TOC (kg C/ t polpa seca) corresponde a uma perda de



rendimento de 0,27%, considerando-se as temperaturas de 90, 90 e 75°C nos estágios D\*, (EP) e D, respectivamente, e independentemente do fator kappa em D\* na faixa de 0,12 a 0,28. As perdas de rendimento em cada estágio e na sequência inteira são influenciadas pelas condições empregadas, não existindo portanto uma equação genérica que proporcione esta determinação indireta.

## Abstract

GOMES, Regina Maria; M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2012. **Indirect methods to evaluate yield losses during a kraft pulp bleaching.** Adviser: Jorge Luiz Colodette. Co-adviser: Hélio Garcia Leite.

The cellulosic pulp bleaching aims to either remove or transform the chromophore groups of the pulp, so the final product reaches the desired brightness but the bleaching causes an inevitable loss of yield. Therefore, this work was done with the intention of proposing the use the dissolved solids content (SD), the chemical oxygen demand (DQO) and the total organic carbon (TOC) of each bleaching stage as indirect techniques to qualify the yield loss. It was used industrial eucalyptus kraft pulps (unbleached pulp and Oxygen predelignified pulp). The industrial brown pulp was used to analyze the yield losses during the oxygen deslignification. The Oxygen predelignified eucalyptus kraft pulp was subjected to the D\*(EP)D bleaching sequence and the first stage D\* was done with five kappa factors (0,12; 0,16; 0,20; 0,24; 0,28). Stages (EP) and D were done at two different temperatures (75°C and 90°C). The gravimetric yield loss of each stage bleaching stage was determined. The filtrate for each stage and the combined filtrate for each sequence were evaluated by the SD, DQO and TOC technique. Correlations were established among the three measurement methods (gravimetric, COD and TOC) and it was tested with an identity test. Analyzing the results it can be concluded that all of three proposals can be used for an indirect determination for the yield loss. The SD and TOC techniques are the most indicated in order to determine the yield loss in the Pre-O<sub>2</sub> and in the D\*(EP)D bleaching, respectively. Every SD percentual unit corresponds to 2,19% of yield loss in the Pre-O<sub>2</sub>. Each unit of TOC (kg C/t pulp dry) corresponds to 0,27% of yield loss, considering the temperatures of 90°, 90° and 75° C in the stages D\*, (EP) and D, respectively, and independently of the kappa factor in D\* in the range of 0,12 to 0,28. The yield losses in every stage and in the whole sequence are influenced by the employed conditions, therefore there is not a general equation which provides this indirect determination.

## 1.INTRODUÇÃO

O setor de celulose e papel vem apresentando um expressivo crescimento devido aos altos investimentos e ao desenvolvimento econômico do Brasil. De acordo com o relatório estatístico anual da Bracelpa (2010/2011), em 2010 o Brasil ocupou a 4ª posição entre os maiores produtores mundiais de celulose, com a produção de 14.164 mil toneladas de polpa celulósica, deste total 85,7% foi de celulose de fibra curta e apenas 11,3% de celulose de fibra longa. Ainda de acordo com Bracelpa (2010/2011), 95% da polpa celulósica de fibra curta foram comercializadas após o processo de branqueamento, principalmente para a fabricação de papéis sanitários e de impressão e escrita.

Segundo Suess (2006), o objetivo básico do branqueamento é remover a cor da polpa, com o menor impacto às propriedades das fibras. O processo de branqueamento da polpa celulósica é realizado por tratamentos oxidativos dos grupos cromóforos, com o objetivo de eliminar ou transformar por reações químicas estes grupos responsáveis pela cor das polpas. (MÉNDEZ e ÀREA, 2009). O branqueamento se divide em duas etapas: deslignificação e alveamento. A etapa de deslignificação tem como principal objetivo reduzir o número kappa, que está influenciado principalmente pela quantidade de lignina residual e pelos ácidos hexenurônicos, sendo esta etapa irreversível por causar uma oxidação dos grupos cromóforos, enquanto a fase de alveamento é reversível, porque causa somente redução dos grupos cromóforos e não sua destruição (D'ALMEIDA, 1988; SUESS, 2006).

Teoricamente todos os agentes oxidantes podem atuar como agente de branqueamento, no entanto, em escala industrial apenas um pequeno número de compostos são usados: dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, ozônio e oxigênio (SUESS, 2006). A escolha de condições de operação para cada estágio de branqueamento permite encontrar a alvura desejada com menores custos de reagentes químicos e pode também influenciar o rendimento e a qualidade da polpa e melhorar a biodegradabilidade do efluente gerado, uma vez que pode diminuir a quantidade de compostos dissolvidos durante o processo de branqueamento. Sendo assim, a moderna tecnologia de branqueamento aponta para o uso mais moderado

dos recursos, o menor consumo de água, maior rendimento do processo e menor carga ambiental (DENCE e REEVE, 1996; SUESS, 2006; SUESS e DAVIES, 2007) .

Segundo Dence e Reeve (1996), as reações de branqueamento podem levar à dissolução significativa dos componentes químicos da polpa, diminuindo o rendimento do produto final e que afetam o custo de produção. O rendimento é um parâmetro da seletividade do processo de branqueamento, sendo indispensável para a sua avaliação econômica. Um menor rendimento implica em maior consumo de madeira para uma dada produção de polpa.

Usualmente o rendimento do branqueamento é obtido pelo método gravimétrico em simulação laboratorial, sendo um método inadequado para prática industrial, por requerer tempo prolongado (PAN e YUAN, 2004). Segundo Longue Jr. et.al.(2009), as indústrias de celulose atuais estão operando com elevada produção, o que dificulta ainda mais a estimativa precisa da perda de rendimento durante o processo de branqueamento.

Alguns estudos foram desenvolvidos no intuito de se obter uma determinação indireta do rendimento do branqueamento de polpas Kraft (SUESS e NIMMERFROH, 1996; SUESS et. al., 1997; SUESS & KRONIS, 1998; ALA-KAILA E REILMA, 2002; LEPORINI E SUESS, 2002; EGAS E SIMÕES, 2004; SUESS e DAVIES, 2007; LONGUE JR et.al., 2009;). Tais estudos buscaram correlacionar a perda de rendimento com o aumento da carga poluente gerada durante o branqueamento, porém nenhum estudo relata a influência das condições empregadas no processo sobre a perda de rendimento em cada estágio, especialmente para polpas de eucalipto.

Este trabalho teve como objetivo comparar técnicas para determinação da perda de rendimento, em escala laboratorial, visando buscar correlações entre o rendimento gravimétrico, o teor de sólidos dissolvidos (SD), a demanda química de oxigênio(DQO) e o teor de carbono orgânico total (TOC) do efluente, gerado na deslignificação com oxigênio de uma polpa marrom de *Eucalyptus* spp e, também, do efluente gerado no processo de branqueamento de uma polpa pré-deslignificada com oxigênio pela sequência D\*(EP)D.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Polpa utilizada

Para a realização deste experimento foram utilizadas polpas industriais de *Eucalyptus* spp marrom e deslignificada com oxigênio (Quadro 1).

Quadro 1 – Caracterização inicial das polpas industriais utilizadas.

Parâmetro	Polpa marrom de <i>Eucalyptus</i> spp.	Polpa Pré-O <sub>2</sub> de <i>Eucalyptus</i> spp.
Número Kappa	14,3	10,4
Alvura (% ISO)	34,4	52,5
Viscosidade (dm <sup>3</sup> /g)	29,5	20,9

### 2.2 - Deslignificação com oxigênio (Pré-O<sub>2</sub>).

Na Figura 1 é mostrado o plano de trabalho utilizado para avaliar a perda de rendimento durante a deslignificação com oxigênio. A polpa industrial marrom de *Eucalyptus* spp foi submetida à deslignificação com oxigênio (Pré-O<sub>2</sub>) num misturador/reator modelo MarkV(Quantum Technologies Inc.), sob as seguintes condições: 10% consistência, 60 minutos, 100°C, 500 kPa de pressão, 20,0 kg/tas (tonelada absolutamente seca de polpa) de NaOH, 5,0 Kg/tas de O<sub>2</sub> e objetivando um pH final de 12,0. Após a Pré-O<sub>2</sub> a perda de rendimento gravimétrico foi determinado por:

$$P.R.(%) = \{1 - (M2/M1)\} * 100 ,$$

Em que: P.R.(%) é o percentual de perda de rendimento gravimétrico, M1 é a massa seca de polpa antes da Pré-O<sub>2</sub> e M2 é a massa seca de polpa após a Pré-O<sub>2</sub>.

Foram confeccionadas folhinhas para avaliar a alvura final da polpa, e o filtrado obtido foi coletado para as posteriores análises (Figura 1).

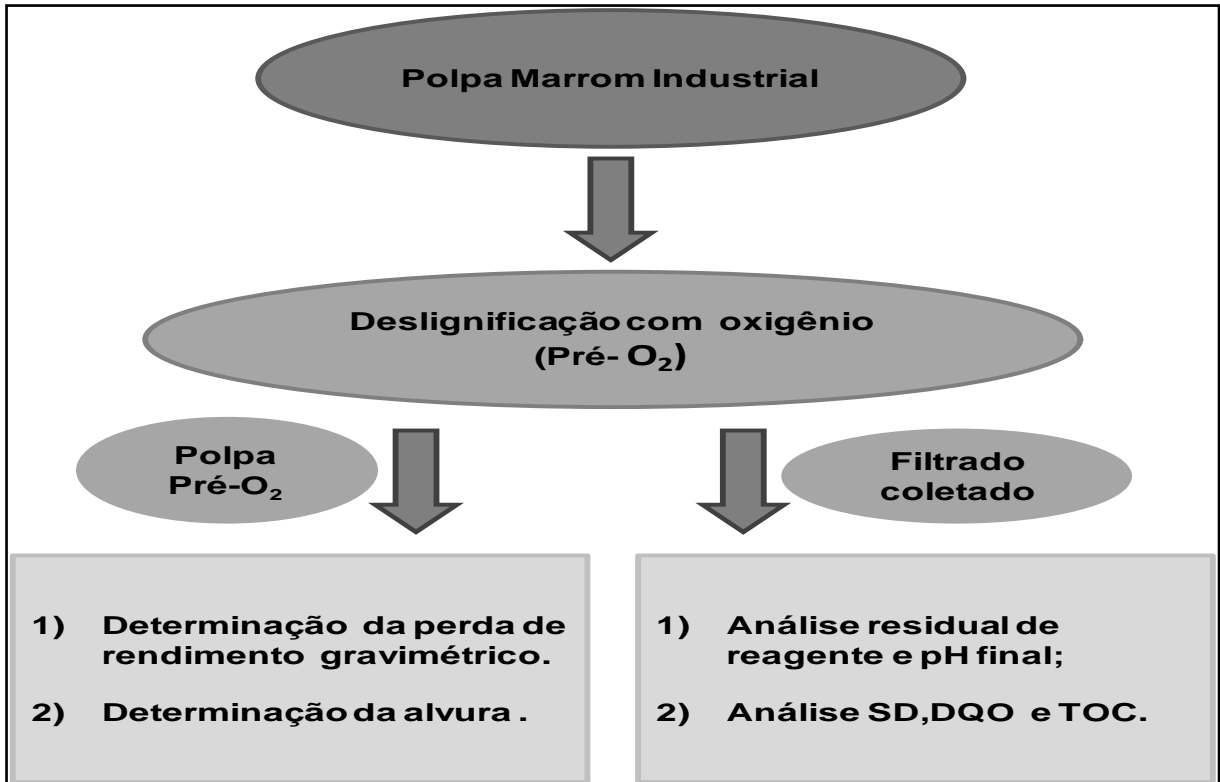


Figura 1 - Esquema experimental da deslignificação com o oxigênio da polpa marrom industrial.

### 2.3. Branqueamento

Um esquema experimental do processo de branqueamento da polpa industrial previamente deslignificada com oxigênio é apresentado na Figura 2. A polpa de eucalipto deslignificada com oxigênio (Pré-O<sub>2</sub>) foi submetida à seguinte sequência de branqueamento: D\*(EP)D, sendo empregadas condições variáveis em cada estágio da sequência. O estágio de dióxido de cloro a quente –D\* foi realizado com cinco fatores kappa (0,12; 0,16; 0,20; 0,24; 0,28). Sendo o fator kappa (F.K.) que determina a quantidade de ClO<sub>2</sub> utilizada no primeiro estágio (% ClO<sub>2</sub> = N° Kappa X Fator Kappa), ou seja, quanto maior o fator kappa maior a carga de ClO<sub>2</sub> empregada no D\*. O estágio de extração alcalina com peróxido - (EP) e o estágio final de dióxido de cloro - D foram realizados em duas temperaturas (75° e 90°C). Todas as polpas foram branqueadas até a alvura final de 90%ISO. As demais condições operacionais empregadas na estádios D\*, (EP) e D estão apresentadas no Quadro 2.

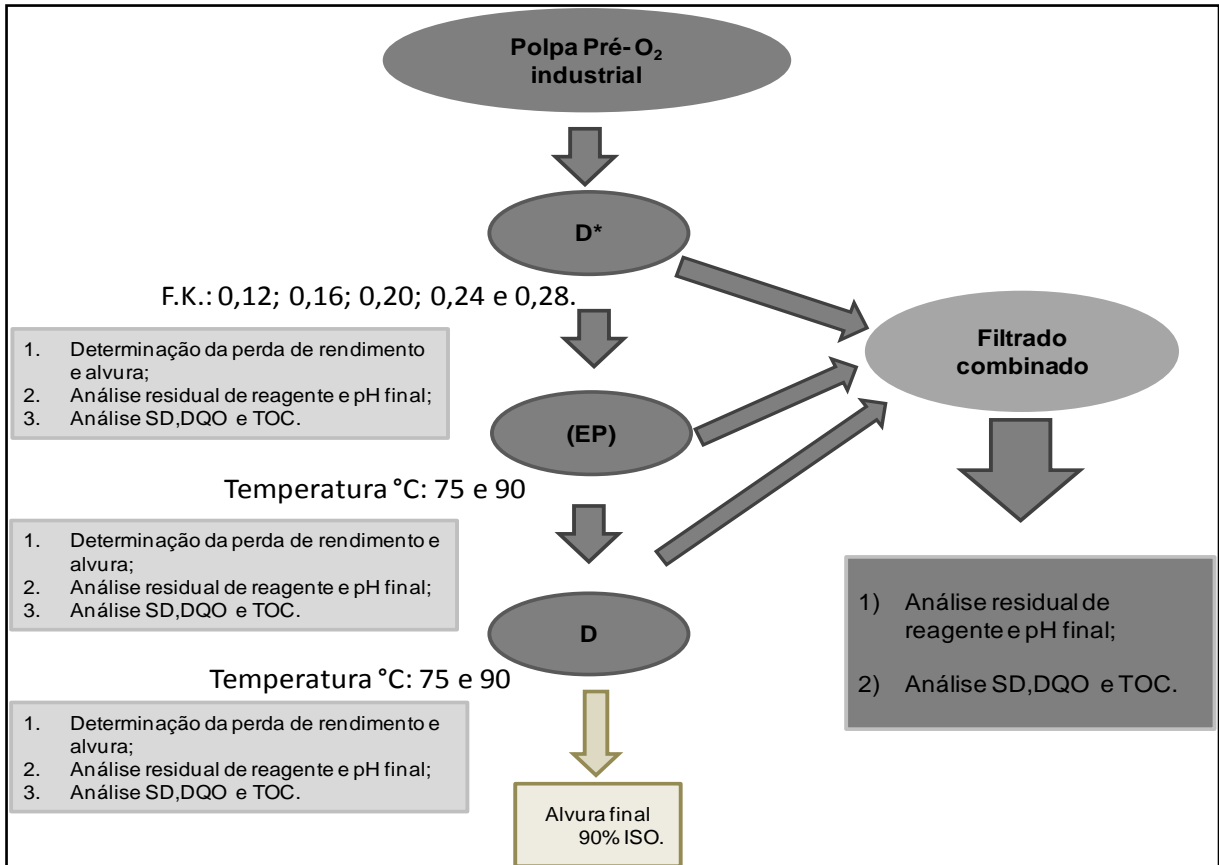


Figura 2 - Esquema experimental do branqueamento da polpa industrial deslignificada com o oxigênio.

Quadro 2 - Condições gerais utilizadas no branqueamento da polpa de eucalipto deslignificada com oxigênio pela sequência D\*(EP)D.

Condições	D*	EP	D
Consistência(%)	10	10	10
Tempo(min)	60	90	120
Temp. °C	90	75 e 90	75 e 90
Fator Kappa	0,12 - 0,28	-	-
ph final	3	11	4,5
ClO <sub>2</sub> (kg/t)	12 - 28	-	3 - 20
NaOH (kg/t)	-	10 - 15	0 - 1
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (kg/t)	-	3 - 7	-
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg/t)	1 - 5	-	0 - 1

Todo o processo de branqueamento foi conduzido em sacos de polietileno, com cinco repetições. As doses necessárias de ácido ou de base requeridas para ajustar o pH foram, em todos os casos, determinadas em experimentos preliminares utilizando a técnica de tentativa e erro. Após cada estágio de branqueamento os filtrados foram coletados para posteriores análises (DQO, TOC e SD); e em seguida a polpa celulósica foi lavada com o equivalente a 9 m<sup>3</sup> de água destilada por

tonelada de polpa absolutamente seca. O rendimento gravimétrico de cada estágio foi determinando e confeccionaram-se folhinhas para a determinação da alvura.

O rendimento gravimétrico total da sequência D\*(EP)D foi calculado pela soma das perdas de rendimento individuais de cada um dos três estágios. Para a determinação indireta da perda de rendimento da sequência, pelas técnicas de SD, DQO e TOC, foi utilizado o procedimento de mistura dos filtrados residuais coletados após cada estágio para compor o filtrado geral da sequência, e este foi analisado quanto aos parâmetros acima mencionados e estes correlacionados com a perda de rendimento gravimétrica.

## 2.4 - Procedimentos Analíticos

Os valores de kappa, viscosidade e alvura foram determinados de acordo com os procedimentos padrões da Tappi, T-236 om-85, T-230 om-94, T-525 om-86., respectivamente. A perda de rendimento gravimétrico foi determinada, com cinco repetições, por:  $P.R.(\%) = \left\{ 1 - \left( \frac{M2}{M1} \right) \right\} * 100$ , sendo P.R.(%) o percentual de perda de rendimento gravimétrico; M1 a massa seca de polpa antes do estágio de branqueamento e M2 a massa seca de polpa após o estágio de branqueamento.

O teor de sólidos dissolvidos (SD), a demanda química de oxigênio (DQO) e o carbono orgânico total (TOC) são comumente empregados para medir a quantidade de material orgânico presente em efluentes e têm sido usados para avaliar o potencial poluidor desses materiais. Tais parâmetros estão intimamente ligados ao número kappa e eficiência da lavagem da polpa marrom.

A determinação do teor de sólidos dissolvidos (SD) foi realizada de acordo com a norma 2549-B, Standard Methods, 1998, que se baseia na determinação da massa de substâncias orgânicas que foram solubilizadas nos filtrados durante o branqueamento. Após terem sido coletadas, as amostras de efluente da Pré-O<sub>2</sub> ou do branqueamento foram filtradas para separar as fibras e em seguida foi pesada uma porção da amostra filtrada, em béquer com peso conhecido, e levado para uma estufa a 105°C, por aproximadamente 24 horas ou até que se atingisse peso constante e o béquer foi novamente pesado. Logo depois foi determinado o teor de sólidos dissolvidos:



$$SD = \frac{(M1-M2)}{P} * 100 ,$$

em que SD é o teor de sólidos dissolvidos (%); M1 é a massa do béquer contendo a amostra seca; M2 é a massa inicial do béquer sem amostra(g) e P é o peso da amostra úmida (aproximadamente 50g).

A demanda química de oxigênio (DQO) foi realizada segundo a norma 5220-D, Standard Methods (1998), que se fundamenta na oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio, em meio fortemente ácido, mantida por 2 horas a 148°C. Após este tempo as amostras são lidas em um espectrofotômetro, e determinadas suas absorvâncias, que foram plotadas posteriormente em uma curva de calibração relacionando absorvância com DQO (mg O<sub>2</sub>/L).

O carbono orgânico total (TOC) foi determinado de acordo com a norma 5310-B, Standard Methods (1998). Primeiramente as amostras foram filtradas para a retenção das fibras. As análises foram realizadas no analisador TOC V-CPN Shimadizu, onde ocorreu a medição no infravermelho dos gases (CO<sub>2</sub> orgânico) gerados após a combustão a 680°C da amostra. A combustão ocorre na ausência de vapores e de halogêneos.

## **2.5 - Análise estatística**

### **2.5.1 – Perda de rendimento na deslignificação com oxigênio (Pré-O<sub>2</sub>)**

Os dados de perda de rendimento (PRdo) na deslignificação com oxigênio (Pré-O<sub>2</sub>) foram analisados por meio de estatística descritiva, sendo estimado, também os coeficientes de correlação entre PRdo e as variáveis: sólidos dissolvidos (SD%), demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e carbono orgânico total (TOC kg C/t).

### **2.5.2 – Perda de rendimento do branqueamento**

O modelo linear simples  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + e_i$  foi ajustado para  $Y = PR_B$  e  $X_j = SD, DQO$  e  $TOC$ . Para avaliar a influência da diferentes fatores kappa empregados no

estágio inicial de dióxido de cloro à quente, sobre a perda de rendimento, foram aplicados testes de identidade de modelos.

Empregando duas variáveis dummy, foram estabelecidas os seguintes modelos, completo (C) e reduzido (R):

$$Y = \beta_1 D_1 + \beta_2 D_2 + \beta_3 D_1 X_{ij} + \beta_4 D_2 X_{ij} + e_i \quad (C)$$

$Y_i = \beta_5 + \beta_6 X_{ij}$  (R),  $j = SD, DQO$  e  $TOC$  e  $Y = PR_B$ , sendo  $D_1 = 1$  e  $D_2 = 0$  para fator kappa FK e  $D_1 = 0$  e  $D_2 = 1$  para fator kappa FK', FK e FK' = 0,12; 0,16; 0,20; 0,24 e 0,28,  $FK \neq FK'$ .

A partir do ajustamento do modelo (C) foram obtidas as seguintes somas de quadrados (SQ)

a)  $SQ \text{ Parâmetros (C)} = \hat{\beta}' c X_j' Y$ , com 4 g.l.

b)  $SQ \text{ Total } n_c = Y' Y$ , com 23 g.l.

c)  $SQ \text{ Resíduo} = Y' Y - \hat{\beta}' c X_j' Y$ , com 19 g.l.

Com a equação oriunda do ajuste do modelo (R) foi obtida a soma de quadrados devido a parâmetros correspondentes, ou seja,

$$SQ \text{ Parâmetros (R)} = SQ \text{ Parâmetros (R)} = \hat{\beta}' r X_j' Y$$
, com 2 g.l.

A redução devido à hipótese  $H_0$  (identidade entre as equações estimadas para fatores kappa FK e FK') foi obtido por  $SQR_{H_0} = SQ \text{ Parâmetros (C)} - SQ \text{ Parâmetros (R)}$ , com 2 g.l.

Assim, sob normalidade, rejeita-se a hipótese de igualdade das equações para os fatores FK e FK' se  $\frac{\left(\frac{SQR_{H_0}}{2}\right)}{\left(\frac{SQ_{Residuo}}{19}\right)} \geq F_{\sigma(2,19 \text{ g.l.})}$ . O nível de significância utilizado foi de 5%.

Este mesmo procedimento estatístico foi utilizado para avaliar a influência da temperatura empregada no estágio (EP) sobre a perda de rendimento. Para este segundo estágio de branqueamento, as equações estimadas a partir do modelo  $Y_i = \beta_0 + \beta_i X_{ji} + e_i$ ,  $j = SD, DQO$  e  $TOC$  foram comparados em relação ao fator kappa e, também, em relação à temperatura. O nível de significância foi de 5%.

A análise estatística para o estágio final de dióxido de cloro foi a mesma descrita para o estágio (EP). Porém, nesse caso, os testes de identidade foram aplicados para comparar as equações de perda de OC, para as temperaturas de 75 e 90°C.

A perda de rendimento total da sequência de branqueamento também foi avaliada em relação à temperatura (75 e 90°C) e ao método (SD, DQO e TOC), empregando o mesmo procedimento descrito para os demais estágios.

### **3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 - Perda de Rendimento na deslignificação com oxigênio (Pré-O<sub>2</sub>)**

A polpa marrom industrial apresentava alvura inicial de 34,4%ISO e foi deslignificada em laboratório até que atingisse alvura similar à alvura da polpa deslignificada com oxigênio industrial, em torno de 52,5% ISO. A Pré-O<sub>2</sub> garante um ganho em alvura significativo (~18% ISO), o que gera uma solubilização da matéria orgânica nos filtrados, resultando em perda de rendimento no processo.

Os valores de PR(%), SD(%), DQO(kgO<sub>2</sub>/t) e TOC(kg C/t) são apresentadas no Quadro 3. Observa-se, pela correlação dos dados que os três métodos propostos se correlacionam com a perda de rendimento, ou seja, todas as três técnicas estudadas (SD, DQO e TOC) podem ser utilizadas para a predição de perda de rendimento, com alta precisão. Porém, numa análise pormenorizada do Quadro 3, observa-se que a melhor técnica para a determinação da perda de rendimento do processo de deslignificação com oxigênio é o teor de sólidos dissolvidos (SD) e a demanda química de oxigênio (DQO), pois apresentaram melhores correlações (0,9376 e 0,9367) com a perda de rendimento gravimétrica. A determinação do SD é uma técnica muito susceptível a erros, pois é uma técnica gravimétrica que quantifica toda a matéria-orgânica dissolvida no filtrado, sem a remoção de interferentes. Apesar disso, o elevado teor de sólidos dissolvidos presentes no filtrado da Pré-O<sub>2</sub> foi capaz de minimizar estes erros, o que refletiu em uma melhor correlação e apontando esta técnica como a mais indicada para a determinação indireta da perda de rendimento do processo de deslignificação com oxigênio.

Quadro 3 - Perda de rendimento (PR%), Sólidos dissolvidos (SD%), Demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e Carbono orgânico total (TOC kg C/t) na desdesignação com oxigênio e correlação entre PRXSD, PRXDQO e PRXTOC.

Repetição.	PR(%)	SD(%)	DQO(kg O <sub>2</sub> /t)	TOC(kg C/t)
1	1,54	0,93	42,23	20,91
2	1,43	0,91	40,37	20,96
3	1,62	0,94	43,37	21,95
4	1,65	0,96	44,21	22,92
5	1,55	0,92	41,18	20,94
Média	1,56	0,93	42,27	21,53
Desvio padrão	0,09	0,02	1,56	0,89
Correlação	-	0,9376	0,9367	0,8004

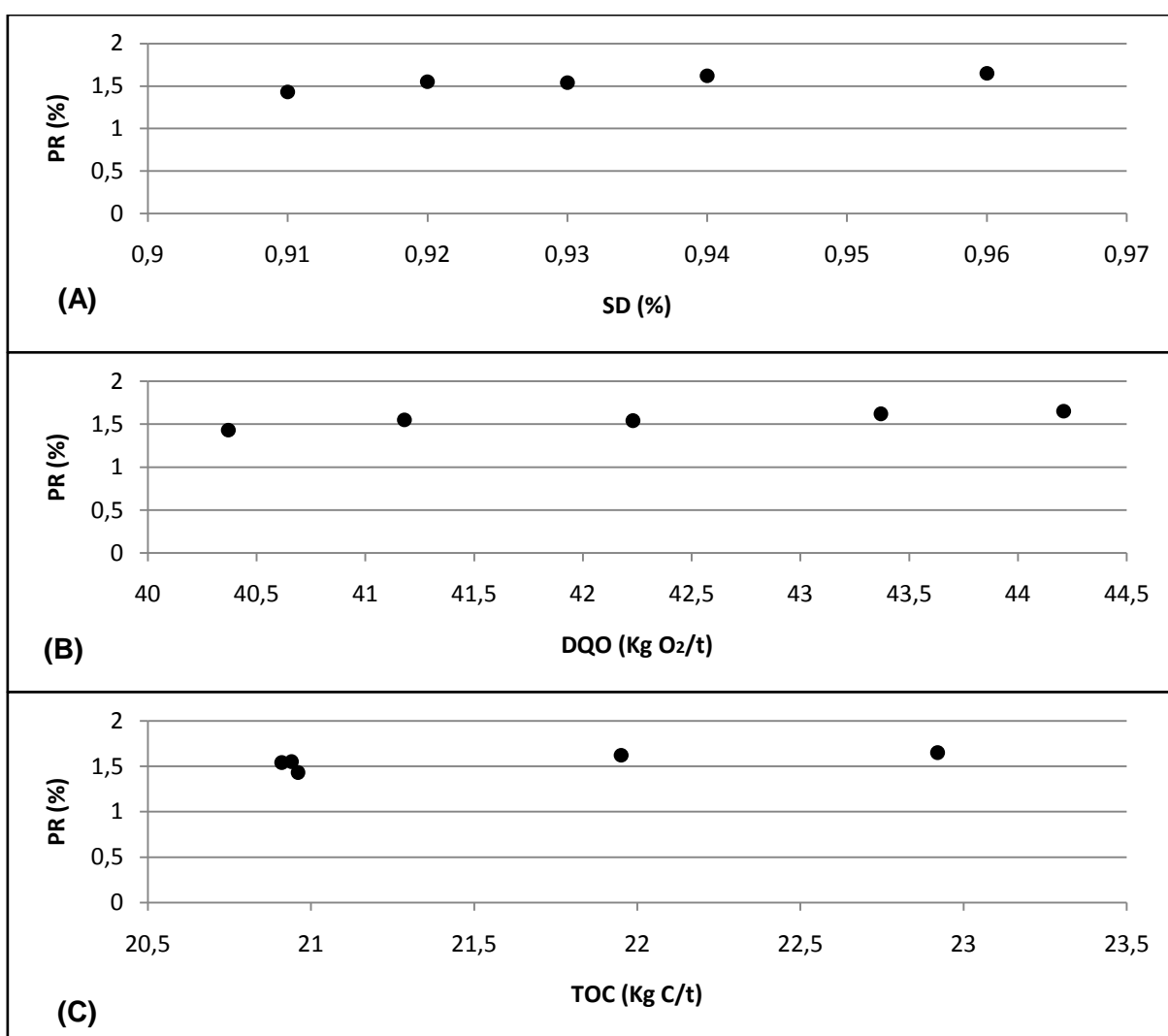


Figura 3 - Perda de rendimento (PR%) ocorrido na desdesignação com oxigênio da polpa marrom industrial de eucalipto, em função: (a) do teor de sólidos dissolvidos (SD%), (b) da demanda química de oxigênio (DQO kg/t) e (c) do carbono orgânico total (TOC kg/t).

A perda de rendimento gravimétrico durante a deslignificação com oxigênio da polpa marrom industrial de eucalipto é diretamente proporcional aos parâmetros analisados, conforme pode ser observado nos gráficos da Figura 4. Pela observação dos gráficos é possível notar que tais técnicas podem ser utilizadas como parâmetros para a determinação indireta da perda de rendimento no processo de Pré-O<sub>2</sub> de polpa marrom de eucalipto. Tal observação já havia sido relatada por Ala-Kaila e Reilama(2002), que também relataram a mesma relação entre PR e SD, DQO e TOC para a deslignificação com oxigênio de polpas de coníferas.

### 3.2 - Perda de Rendimento do branqueamento D\*(EP)D

#### 3.2.1 - Influencia dos diferentes fatores Kappa (FK) empregados no estágio inicial de dióxido de cloro à quente (D\*) sobre a perda de rendimento

Durante o processo de branqueamento a polpa marrom de eucalipto foi submetida à cinco fatores kappa diferentes no estágio D\*, a saber: 0,12; 0,16; 0,20; 0,24 e 0,28, a fim de se avaliar a influência destes na perda de rendimento no primeiro estágio de branqueamento. É o fator kappa que determina a quantidade de dióxido de cloro que será empregada no estágio de branqueamento; quanto maior o fator kappa maior a quantidade de dióxido de cloro utilizada.

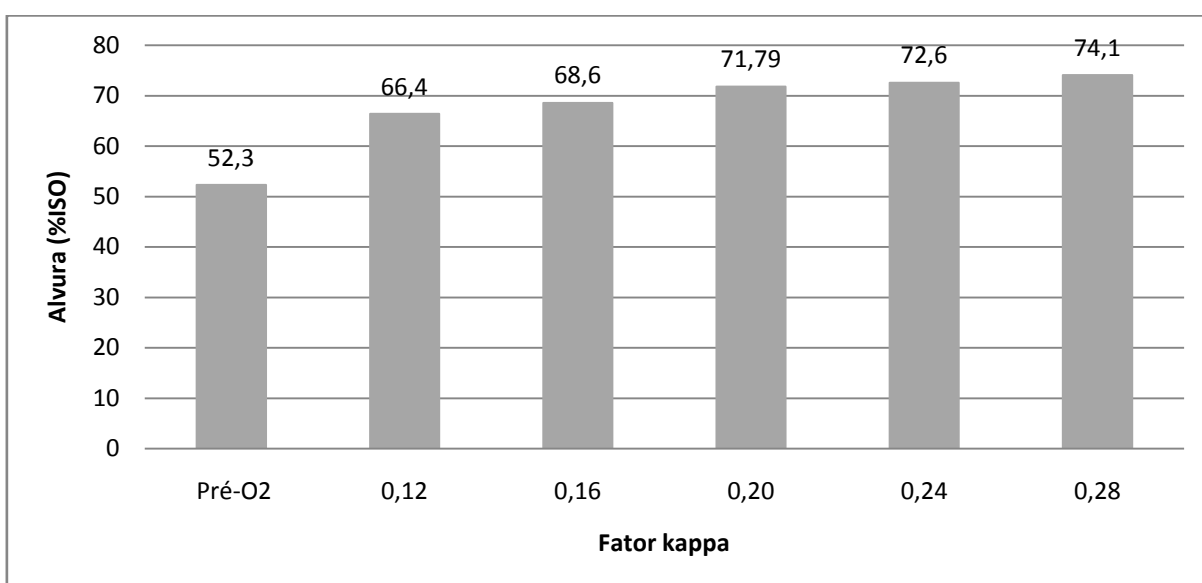


Figura 4 - Alvura inicial da polpa (Pré-O<sub>2</sub>) e a alvura final após o primeiro estágio de branqueamento (D\*) para os diferentes fatores kappa empregados.

Na Figura 4 é apresentada a alvura da polpa após o primeiro estágio de branqueamento para cada um dos fatores kappa empregados. Observa-se que quanto maior o fator kappa empregado maior o ganho em alvura da polpa. Este maior ganho de alvura leva a uma maior perda de rendimento, como pode ser visto na Figura 5 e Quadro 4.

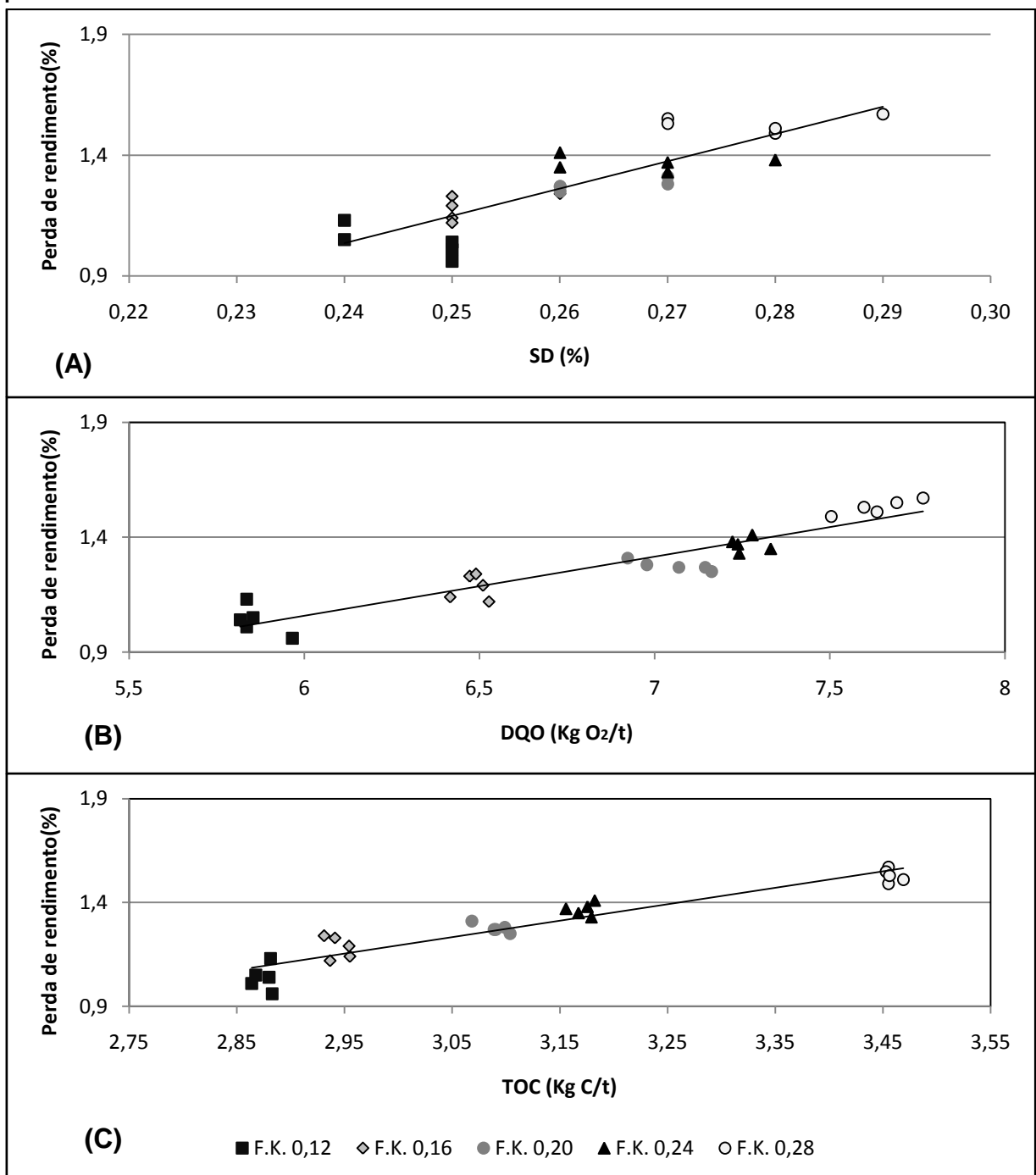


Figura 5 - Perda de rendimento (PR%) ocorrido no primeiro estágio do branqueamento da polpa industrial de eucalipto deslignificada com oxigênio, em função: (a) do teor de sólidos dissolvidos (SD%), (b) da demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e (c) do carbono orgânico total (TOC kg C/t).

A Figura 5 apresenta a perda de rendimento durante o primeiro estágio de branqueamento, o estágio de dióxido à quente. Verifica-se que quanto maior o fator kappa maior a perda de rendimento. Essa tendência é observada independente da técnica analisada, sendo que o TOC propicia melhor separação dos dados, evidenciando melhor as classes de fator kappa (Fig.5C), fato este que justifica os maiores coeficientes de determinação parâmetro TOC (Quadro 4). O TOC é uma técnica mais precisa que as outras duas, pois prevê uma maior remoção de interferentes em relação as demais(Standard Methods, 1998).

Pela observação dos resultados do Quadro 4 nota-se que não há diferença entre as equações de perda de rendimento em função do fator kappa empregado, o que indica que pode-se utilizar uma única equação para expressar a perda de rendimento do estágio D\* independente do fator kappa empregado. Verifica-se ainda que as três técnicas testadas podem ser utilizadas para a determinação indireta da perda de rendimento. Analisando os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) das equações gerais (equações que incluem todos os fatores kappa testados) conclui-se que para o estágio inicial D\*, o TOC é a melhor técnica para a determinação indireta da perda de rendimento.

Quadro 4 - Equações gerais da perda de rendimento (PR%), em função do Teor de sólidos dissolvidos (SD%), da Demanda química de oxigênio (DQO kg/t) e do Carbono orgânico total (TOC kg/t).

PR x SD	PR x DQO	PR x TOC
PR=-1,676+(11,299*SD) R <sup>2</sup> = 0,7248	PR=-0,4839+(0,257*DQO) R <sup>2</sup> = 0,8700	PR=-1,1812+(0,792*TOC) R <sup>2</sup> = 0,8998

### 3.2.2 - Influência da temperatura empregada no estágio (EP) - extração alcalina com peróxido de hidrogênio- sobre a perda de rendimento.

O segundo estágio da sequência de branqueamento (EP) foi realizado sob duas temperaturas diferentes, 75 e 90°C, a fim de se verificar a influência destas na perda de rendimento do processo.

A Figura 6 demonstra o ganho de alvura das polpas após o estágio de extração alcalina com oxigênio. É possível notar que o maior ganho de alvura foi obtido pela sequência de fator kappa 0,12, isto devido ter sido empregado maior carga de peróxido de hidrogênio para garantir que tal sequência atinja a alvura

desejada de 90%ISO ao final do branqueamento. No entanto o maior fator kappa empregado no primeiro estágio (FK =0,28) ainda apresenta maior alvura no estágio (EP). Nota-se que a temperatura empregada no (EP) influenciou no ganho de alvura, sendo maior o ganho para a maior temperatura empregada.

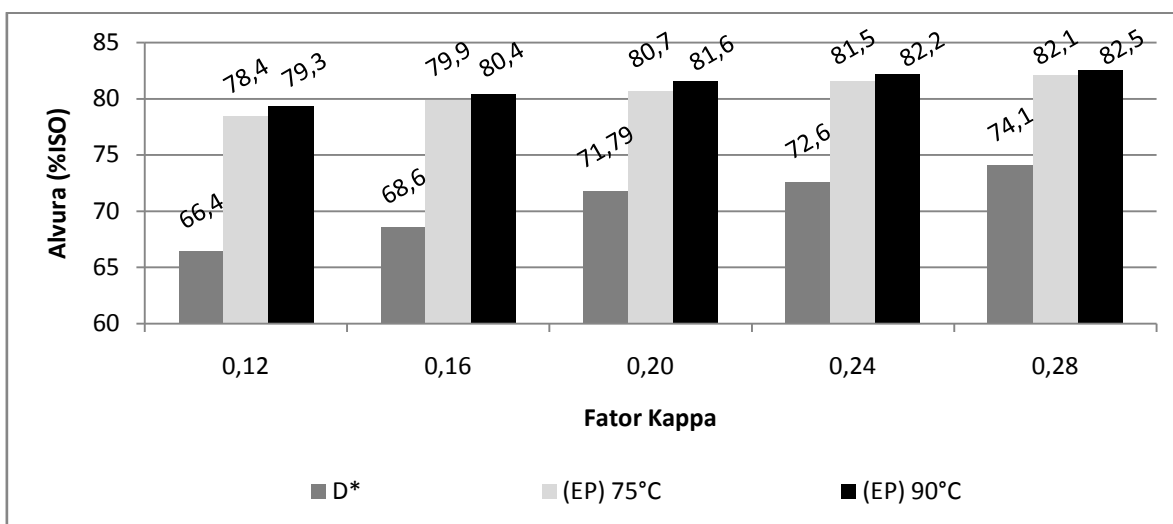


Figura 6- Ganho da alvura após D\* e (EP) em função dos fatores kappa empregados no primeiro estágio.

A Figura 7 demonstra os gráficos de perda de rendimento em função das variáveis analisadas (SD, DQO e TOC), onde é possível notar que quanto maior o valor das variáveis maior a perda de rendimento. Observa-se que o fator kappa 0,12 resulta na maior perda de rendimento, independente do parâmetro analisado e da temperatura empregada no estágio (EP); este fator kappa foi o que apresentou maior ganho de alvura no estágio (EP) em razão de ter utilizado uma maior dosagem de peróxido, e este maior ganho de alvura levou a uma maior perda de rendimento. Esses resultados corroboram os publicados por Leporini e Suess (2002) e Suess e Davies (2007)

Nota-se que independente do método utilizado a perda de rendimento no estágio (EP) é maior quando se emprega temperatura mais elevada, confirmando o que já foi relatado na literatura (LEPORINI E SUESS, 2002; SUESS E DAVIES, 2007).



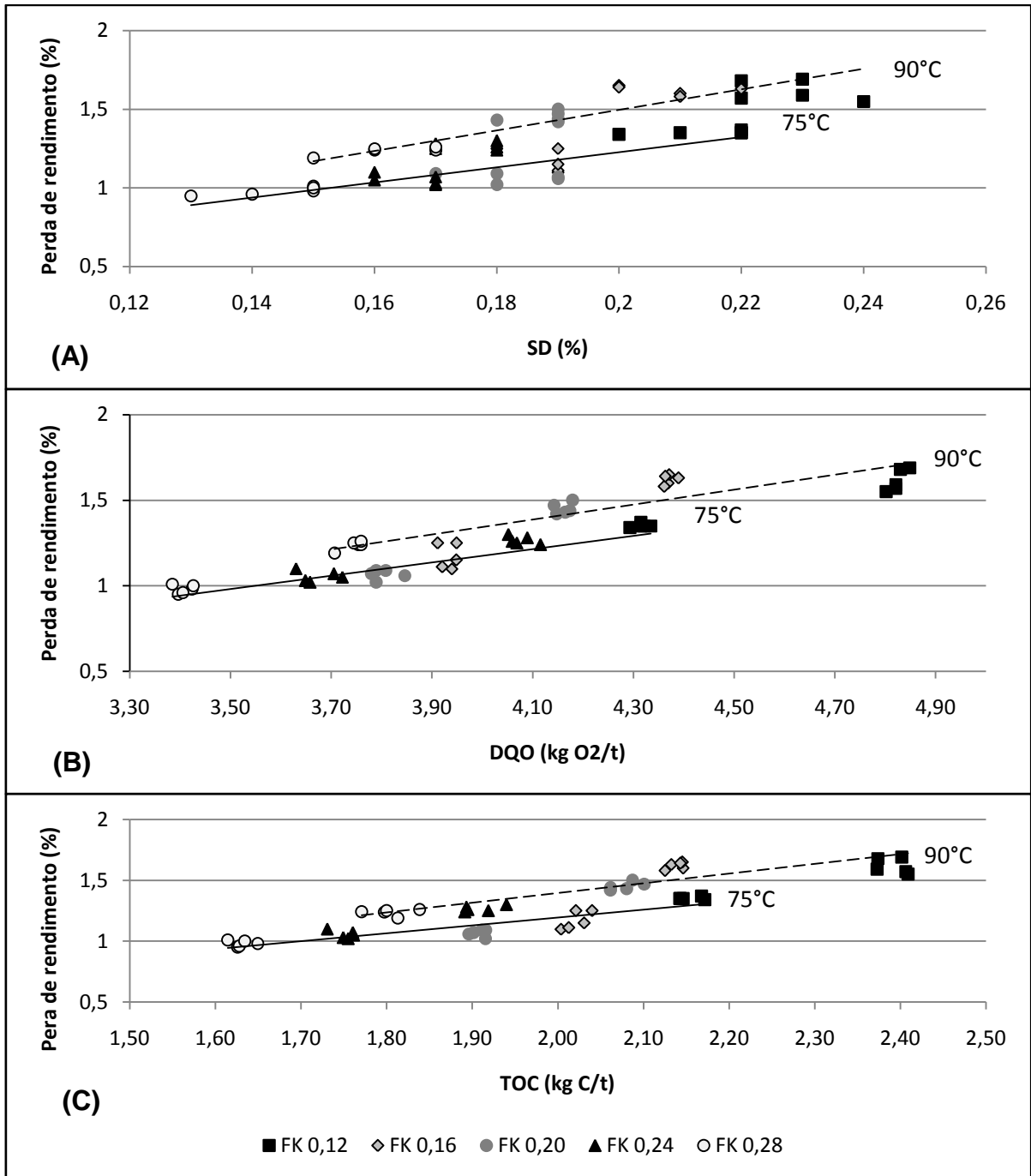


Figura 7 - Perda de rendimento (PR%) ocorrido no estágio (EP) de branqueamento nas temperaturas de 75 e 90°C, em função: (a) do teor de sólidos dissolvidos (SD%), (b) da demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e (c) do carbono orgânico total (TOC kg C/t).

Pela Figura 7 ainda é possível notar que o TOC permite uma melhor individualização dos fatores kappa, tornando mais fácil a visualização do efeito de cada um deles e da temperatura na perda de rendimento. Embora todas as três técnicas possam ser utilizadas como parâmetros para a perda de rendimento, semelhante ao que já foi dito para o estágio D\*, a técnica do TOC é a mais indicada

para o estágio (EP), o que é confirmado pelo  $\bar{R}^2$  da equação comum do TOC (0,9229) que é maior que o do SD (0,7392) e da DQO(0,8563) (Quadro 5). O maior  $\bar{R}^2$  indica que há uma maior correlação linear entre os dados.

No Quadro 5 assumiu-se uma única equação para a perda de rendimento para cada técnica, independente do fator kappa.

Ainda observando o Quadro 5 e a Figura 7 nota-se que existe influência da temperatura empregada no estágio (EP) sobre a perda de rendimento no estágio. Longue et.al. (2009) também relataram que à medida que se eleva a temperatura do estágio (EP) a perda de rendimento aumenta. Porém as perdas de rendimento são mais expressivas quando a polpa é oriunda do estágio anterior que utilizou menor fator kappa, pelo fato deste menor fator kappa levar à menor remoção de substâncias no estágio inicial, em relação à fatores kappa maiores.

Quadro 5 - Equações da perda de rendimento (PR%) no estágio, em função do teor de Sólidos dissolvidos (SD%), da Demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e do Carbono orgânico total (TOC kg C/t) para diferentes fatores kappa e diferentes temperaturas (EP).

Método	Temperatura (EP)°C	
	75	90
SD (%)	PR = 0,2648+(4,8092*SD) A $\bar{R}^2 = 0,7452$	PR = 0,3041+(6,3865*SD) B $\bar{R}^2 = 0,739200$
DQO (kgO <sub>2</sub> /t)	PR = -0,4708+(0,4170*DQO) A $\bar{R}^2 = 0,8730$	PR = -0,40778+(0,4377*DQO) B $\bar{R}^2 = 0,8563$
TOC (kgC/t)	PR = -0,0995+(0,6466*TOC) A $\bar{R}^2 = 0,9057$	PR = -0,2036+(0,7992*TOC) B $\bar{R}^2 = 0,9229$

Mesma letra maiúscula em cada linha indica identidade entre as equações ajustadas (P>0,005).

### 3.2.3 - Influência da temperatura empregada no estágio final com dióxido de cloro (D) sobre a perda de rendimento

A Figura 8 apresenta os gráficos de perda de rendimento no estágio D realizado nas temperaturas de 75 e 90°C, para vários fatores kappa no estágio D\* e duas temperaturas no estágio (EP).

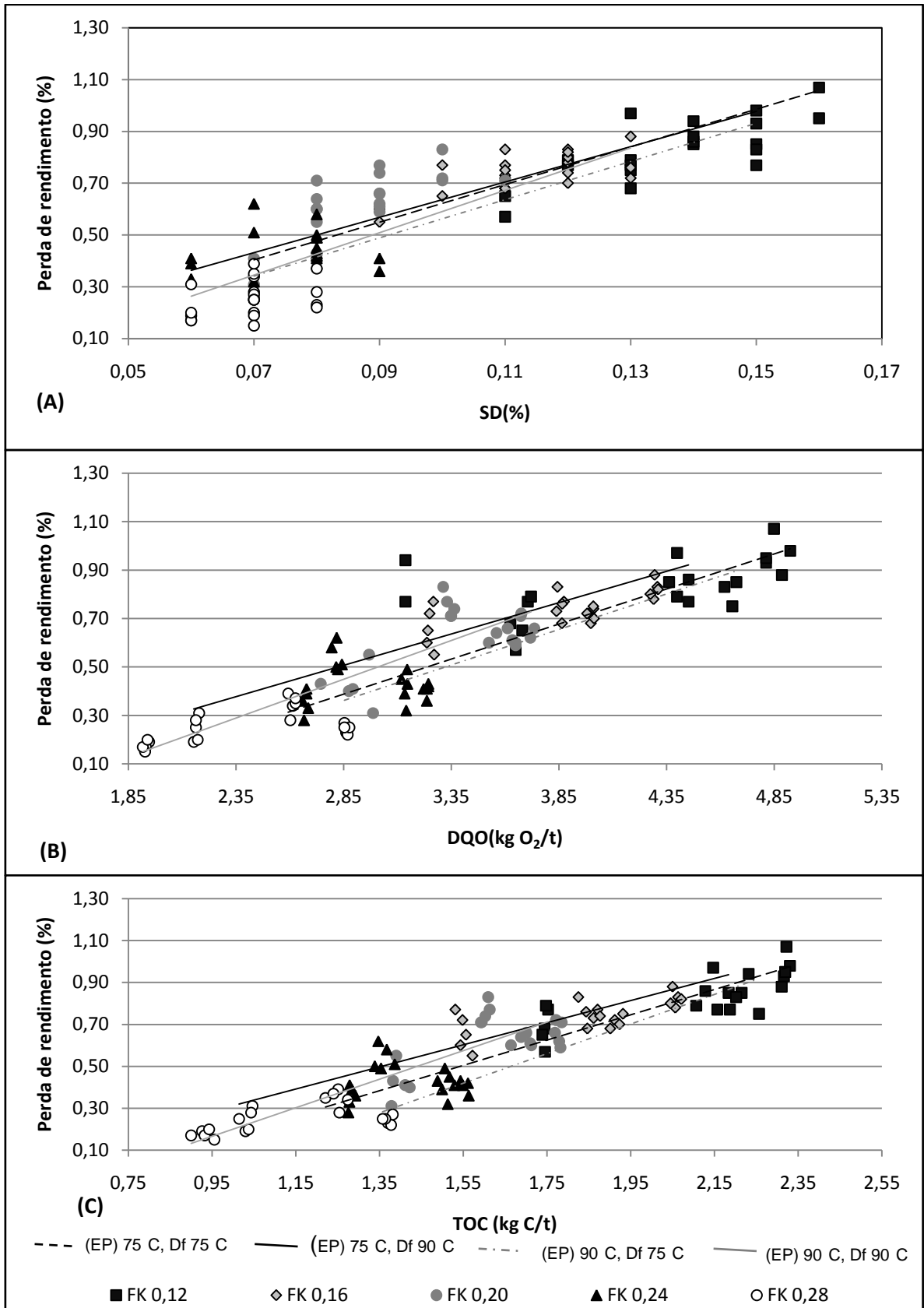


Figura 8 - Perda de rendimento (PR%) ocorrido no último estágio de branqueamento (D) conduzido em diferentes temperaturas, em função: (a) do teor de sólidos dissolvidos (SD%), (b) da demanda química de oxigênio (DQO kgO<sub>2</sub>/t) e (c) do carbono orgânico total (TOC kg C/t).

Todos os branqueamentos foram realizados até que as polpas atingissem a alvura final de 90% ISO, sendo necessária a aplicação de uma quantidade maior de dióxido de cloro no último estágio, para as sequências que utilizaram o menor fator kappa no primeiro estágio, pois estas apresentavam menor alvura ao final do (EP). Esta maior carga de reagente utilizada pode ter influência na maior perda de rendimento observada na Figura 8, onde é possível notar que quanto menor o fator kappa utilizado no estágio inicial maior a perda de rendimento no estágio final.

Pela Figura 8 pode-se observar que a temperatura empregada no último estágio (D) afetou a perda de rendimento, mas esta é influenciada também pela temperatura empregada no estágio anterior (EP), ou seja, é necessário avaliar a perda de rendimento no último estágio associando às condições empregadas no estágio anterior, pois há uma interação entre elas, como pode ser visto no Quadro 6. Observa-se que as equações de perda de rendimento no estágio D são estatisticamente diferentes, não sendo possível agrupá-las em uma equação comum independente da temperatura empregada. Isto indica um efeito direto da temperatura na perda de rendimento.

A Figura 9 permite visualizar que dentre as técnicas testadas o TOC é a técnica que permite um melhor agrupamento das classes de fator kappa, apesar de não ser tão visível a separação entre as curvas de temperatura. O teor de sólidos é uma técnica menos precisa e muito sensível à quantidade de sólidos dissolvidos presentes no filtrado. Como no último estágio a quantidade de matéria orgânica dissolvida é muito baixa, a precisão desta técnica torna-se pouco confiável, gerando dados muito dispersos e de difícil repetição como pode ser visto na Figura 8, o que é confirmado pelo  $\bar{R}^2$  apresentado no Quadro 6.

Como já foi relatado anteriormente não há influência significativa do fator kappa empregado o que indica que pode-se utilizar uma equação comum para a perda de rendimento para cada técnica, independente do fator kappa. Por isso, no Quadro 6 estão representadas somente as equações gerais para cada temperatura empregada nos estágios (EP) e D.

Pelo Quadro 6 é possível concluir que, embora as três técnicas testadas podem ser utilizadas como parâmetro para a determinação indireta da perda de rendimento, o TOC é a técnica que apresenta o maior  $\bar{R}^2$ , independente da

temperatura empregada, novamente apresentando-se como a melhor alternativa para a determinação da perda de rendimento.

Quadro 6 - Equações da perda de rendimento (PR%) no estágio D da sequência D\*(EP)D, em função do teor de Sólidos dissolvidos (SD%), da Demanda química de oxigênio (DQO kgO<sub>2</sub>/t) e do Carbono orgânico total (TOC kg C/t) para diferentes temperaturas no (EP) e no D.

Método	Temp. °C (EP)	Temperatura °C – Df	
		75	90
SD (%)	75	PR = -0,1046+(7,2659*SD) Aa $\bar{R}^2 = 0,5620$	PR = -0,0457+(6,8189*SD) Ab $\bar{R}^2 = 0,5729$
	90	PR = -0,1743+(7,3666*SD) Ba $\bar{R}^2 = 0,5105$	PR = -0,2267+(8,1750*SD) Bb $\bar{R}^2 = 0,5625$
DQO (kg O <sub>2</sub> /t)	75	PR = -0,4370+(0,2894*DQO) Ca $\bar{R}^2 = 0,8410$	PR = -0,2309+(0,2588*DQO) Cb $\bar{R}^2 = 0,8230$
	90	PR = -0,4756+(0,2935*DQO) Da $\bar{R}^2 = 0,8305$	PR = -0,4631+(0,3199*DQO) Db $\bar{R}^2 = 0,8325$
TOC (kg C/t)	75	PR = -0,4327+(0,6042*TOC) Ea $\bar{R}^2 = 0,9445$	PR = -0,2140+(0,5271*TOC) Eb $\bar{R}^2 = 0,9345$
	90	PR = -0,6731+(0,7051*TOC) Fa $\bar{R}^2 = 0,9253$	PR = -0,4805+(0,82946*TOC) Fb $\bar{R}^2 = 0,9294$

Mesma letra maiúscula em cada coluna e mesma letra minúscula em cada linha, para cada método, indica identidade entre as equações ajustadas (P > 0,005)

### 3.2.4. Análise da perda de rendimento total da sequência de branqueamento D\*(EP)D

A Figura 10 apresenta a perda de rendimento total da sequência de branqueamento D\*(EP)D. A perda de rendimento total foi maior para as sequências que utilizaram menor carga de dióxido de cloro no primeiro estágio (menor fator kappa), provavelmente porque foi necessário maior carga de reagente nos estágios seguintes para garantir a alvura final desejada. Assim sendo, os menores rendimentos totais foram observados para o fator kappa 0,28 enquanto que os maiores foram obtidos com o fator kappa 0,12.

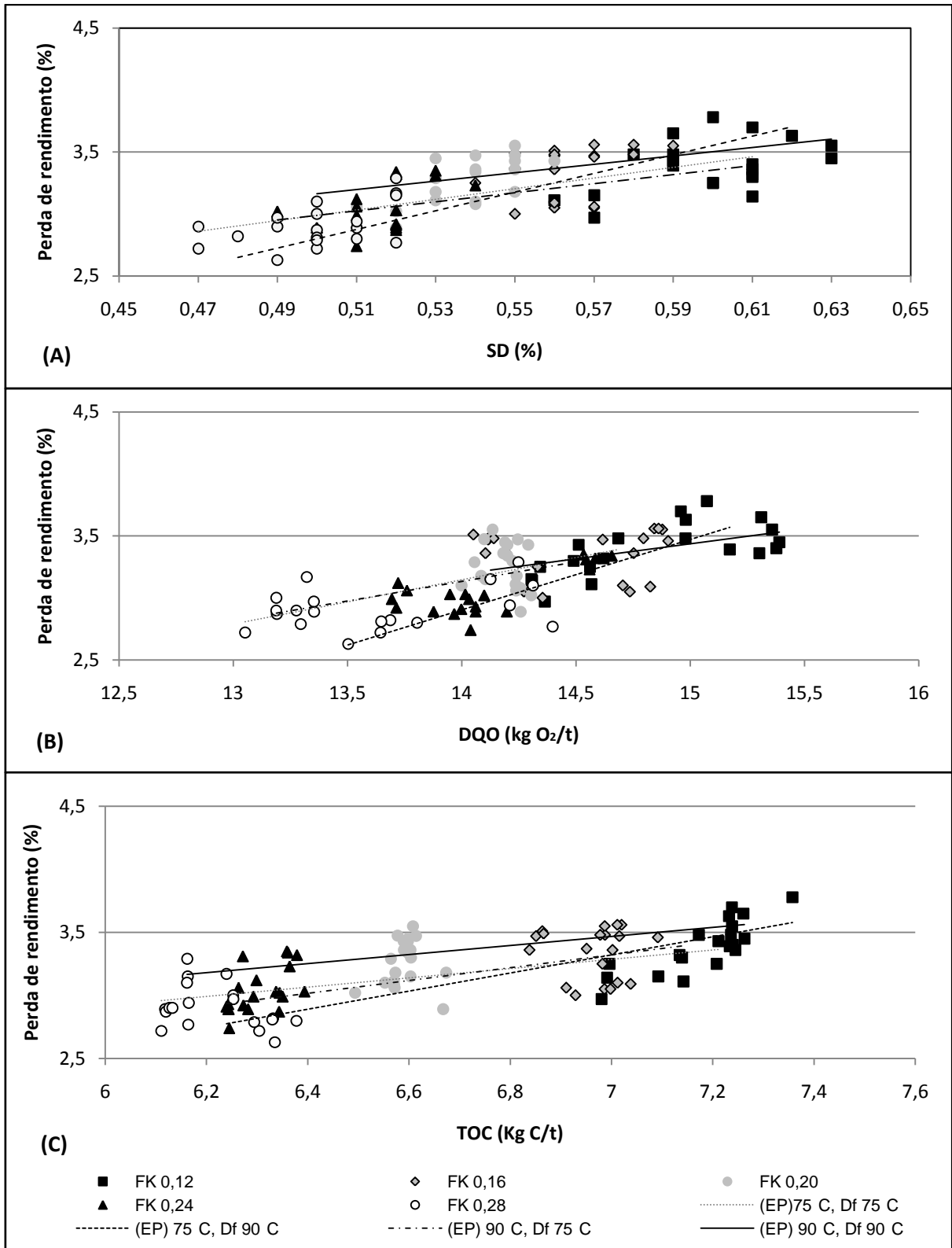


Figura 9 - Perda de rendimento total (PR%) ocorrido durante todo o processo de branqueamento, para os diferentes fatores kappa e para as diferentes temperaturas empregadas nos estágios (EP) e D, em função: (a) do teor de sólidos dissolvidos (SD%), (b) da demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e (c) do carbono orgânico total (TOC kg C/t).

Foi possível concluir que a perda de rendimento média das sequências, independente das condições empregadas, foi em torno de 3%, resultado que se assemelha aos relatados na literatura (SUESS E KRONIS, 1998; EGAS E SIMÕES, 2004; LONGUE JR. et. al., 2009). Porém, valores tão baixos quanto 2,72 foram obtidos para o fator kappa 0,28 em D\* com temperaturas de 75°C em (EP) e D e tão altos quanto 3,70 para o fator kappa de 0,12 em D\* em temperaturas de 90°C em (EP) e D.

De uma forma geral, as técnicas propostas podem ser utilizadas para a determinação indireta da perda de rendimento, no entanto, as correlações devem ser elaboradas em função das condições empregadas. Não existem equações universais que relacionem perda de rendimento no branqueamento com SD, DQO ou TOC. A sequência que utilizou as temperaturas mais elevadas apresentou maior perda de rendimento, independente do método indireto proposto (Figura 10). No entanto, as equações são muito próximas e praticamente impossíveis de serem separadas pelo fato de possuírem alguns pontos em comum. No Quadro 7 são apresentadas as equações de todas as curvas que estão demonstradas na Figura 9.

Quadro 7 - Equações da perda de rendimento (PR%) ocorridas no processo de branqueamento pela sequência D\*(EP)D, em função do teor de Sólidos dissolvidos (SD%), da Demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e do carbono orgânico total (TOC kg C/t) para diferentes temperaturas no (EP) e no D.

Método	Temp.°C (EP)	Temperatura °C – Df	
		75	90
SD (%)	75	PR= 0,8478+(4,2833*SD) Aa R <sup>2</sup> ajustado= 0,4550	PR = -0,9653+(7,5291*SD) Ab R <sup>2</sup> ajustado=0,4537
	90	PR = 1,1673+(3,6436*SD) Aa R <sup>2</sup> ajustado=0,4644	PR = 1,4676+(3,3911*SD) Bb R <sup>2</sup> ajustado= 0,4004
DQO (kgO <sub>2</sub> /t)	75	PR =-1,8536+(0,3571*DQO) Ba R <sup>2</sup> ajustado= 0,5346	PR=-5,0228+(0,5662*DQO) Cb R <sup>2</sup> ajustado=0,563610
	90	PR = -2,4058+(0,4116*DQO) Ba R <sup>2</sup> ajustado= 0,5481	PR=-0,1951+(0,2421*DQO) Db R <sup>2</sup> ajustado= 0,4518
TOC (kg C/t)	75	PR = -0,7039+(0,3690*TOC) Ca R <sup>2</sup> ajustado=0,7661	PR = -1,7026+(0,7177*TOC) Eb R <sup>2</sup> ajustado = 0,7823
	90	PR = -0,2336+(0,5079*TOC) Ca R <sup>2</sup> ajustado= 0,7946	PR = -0,9445+(0,3605*TOC) Fb R <sup>2</sup> ajustado = 0,7495

Mesma letra maiúscula em cada coluna e mesma letra minúscula em cada linha, para cada método, indica identidade entre as equações ajustadas (P > 0,005)

Nota-se que as equações das sequências que foram conduzidas à 75°C no estágio final não diferem entre si, independente da temperatura que foi empregada no estágio (EP). No entanto, as sequências que tiveram o estágio final conduzido à 90°C sofreram ação significativa das temperaturas empregadas tanto no estágio (EP) quanto no estágio D, o que é observado pela estatística (Quadro 7).s As três técnicas propostas (SD, DQO e TOC) podem ser utilizadas como parâmetro para a determinação indireta da perda de rendimento. Porém, o valor de R<sup>2</sup> ajustado das equações mostra que o TOC apresenta maior coeficiente de correlação, independente da temperatura empregada nos estágios (EP) e D, sendo, portanto, a técnica mais indicada para a determinação da perda de rendimento total da sequência de branqueamento.

#### 4. CONCLUSÕES

A perda de rendimento na Pré-O<sub>2</sub> pode ser estimada pelos valores de SD, DQO e TOC do seu filtrado, sendo a técnica de SD a de maior precisão.

Independente da técnica empregada, a perda de rendimento na Pré-O<sub>2</sub> de polpa kraft de eucalipto varia na faixa de 1,43 - 1,65%.

A perda de rendimento no branqueamento pela sequencia D\*(EP)D pode também ser estimada pelos valores de SD, DQO e TOC dos filtrados dos vários estágios, sendo a técnica de TOC a de maior precisão.

Independente da técnica empregada, a perda de rendimento no branqueamento D\*(EP)D de polpa kraft de eucalipto, pré-deslignificada com oxigênio, varia na faixa de 2,72 – 3,70.

Dentre as variáveis fator kappa do estágio D\*, temperatura do estágio (EP) e temperatura do estágio D, a duas últimas são de maior importância.

O aumento do fator kappa do estágio D\* na faixa de 0,12-0,28, diminui a perda de rendimento da sequencia total, para uma alvura objetivo de 90% ISO.

Perdas de rendimento tão baixos quanto 2,72 foram obtidos para o fator kappa 0,28 em D\* com temperaturas de 75°C em (EP) e D e tão altos quanto 3,70 para o fator kappa de 0,12 em D\* em temperaturas de 90°C em (EP) e D

As equações e correlações obtidas entre perda de rendimento gravimétrica e as técnicas indiretas avaliadas são validas apenas nas condições operacionais



utilizadas neste estudo. Em outras palavras, não é possível estabelecer uma equação universal correlacionado perda de rendimento versus SD, DQO e TOC.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALA-KAILA, K.; REILAMA, I. Step-wisedeslignification response in na industrial two-stageoxygen-alkalideslignificatiomprocess. **Pulp&Paper Canada**, Quebec. v.102, n.6 p 53-55, 2001.

BRACELPA/Associação Brasileira de Celulose e Papel. Relatório Estatístico 2010/2011. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br>. acesso em 04/10/2011.

D'ALMEIDA, M. L. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação de pasta celulósica**.2. ed. São Paulo: IPT, 1988.

DENCE, C.W; REEVE, D. Introduction to the principles and pratice of pulp bleaching. Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: Tappi Press, 1996. 868 p.

EGAS, A.; SIMÕES,R.M. Filtrate analysis as a tool to estimate total yield in ECF bleaching sequences. In: INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE, 205,Stockolm. **Proceedings...** Stockolm, 2005.CD-ROM.

KRAFT, P. Bleaching of wood pulps. In: MCDONALD, R.G. (Ed.). Pulp and paper manufacture. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1967. v.1, p.628-725.

LEPORINI FILHO, C.; SUESS, H.U. Hydrogen peroxide in chemical pulp bleaching - An overview.In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL, 2002 Campinas. **Proceedings...** Campinas, 2002.

LONGUE Jr, D.; COLODETTE, J.L.; FREITAS, M.A. Alternative technique for evaluating yield loss in modern bleach plants.**Cerne**, Lavras, v.15, n.4, p.398-406, 2009.

MENDÉZ, C.M.; ÁREA M.C. Cinética do estágio Ep no branqueamento ECF de polpas Kraft. **O PAPEL** ,v. 70, n. 06, p. 48-56, 2009.

PAN, G.X.; YUAN, H. Measurement of dissolved organic substances as a predicative tool to a monitor pulp qualities in the alkaline peroxide bleaching of aspen mechanical pulp. **Pulp&Paper Canada**, Quebec, v.105, n.6, p.35-39, 2004. Disponível em: <http://www.pulpanpapercanada.com/paptac/PDFs/Jun04/PulpProperties2.pdf>. Acesso em: 22 abr.2010.

REGAZZI, A.J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais. **Revista Ceres**, n. 46, p. 383-409, 1999.

SUESS, H.U. A shortened version of bleaching. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA in 2006.

SUESS, H.U.; DAVIES, D. ECF bleaching of softwood kraftpulp: Understanding the potential of extraction. **Pulp&Paper Canada**, Quebec, v.108, n.7/8, p.41-47, 2007. Disponível em: [http://www.pulpanpapercanada.com/paptac/PDFs/July\\_Aug07/pulpbleaching.pdf](http://www.pulpanpapercanada.com/paptac/PDFs/July_Aug07/pulpbleaching.pdf). Acesso em: 29 dez. 2009.

SUESS, H.U.; KRONIS, J.D. The correlation of COD and yield in chemical pulp bleaching. In: TAPPI BREAKING THE PULP YIELD BARRIER SYMPOSIUM, 1998. Atlanta. **Proceedings...** Atlanta, 1998. Disponível em: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2322257>. Acesso em 29 dez. 2009.

SUESS, H.U.; NIMMERFROH, N.F. Hydrogen peroxide in chemical pulp bleaching - An overview. In: ABTCP PULP BLEACHING CONFERENCE, 1996, Vitória. **Proceedings...** Vitória, 1996. Disponível em: [http://h2o2.evonik.com/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/H2O2/217\\_Document.pdf](http://h2o2.evonik.com/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/H2O2/217_Document.pdf). Acesso em: 04 jun. 2011.

SUESS, H.U.; NIMMERFROH, N.F. KRONIS, J.D. The naked truth on hot peroxide bleaching. In: ANUAL MEETING CCPA, 1997, MONTREAL. **Proceedings...** Montreal, 1997. Disponível em: [http://h2o2.evonik.com/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/H2O2/216\\_Document.pdf](http://h2o2.evonik.com/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/H2O2/216_Document.pdf). Acesso em: 26 abr. 2011.

## APÊNDICES

Quadro1: Condições empregadas na deslignificação com oxigênio da polpa marrom em laboratório e média dos resultados obtidos.

Condições	
Consistência(%)	10
Tempo(min)	60
Temp. °C	95
ph final	11,00
NaOH (kg/t)	18,0
O2 (kg/t)	20,0
Pressão (atm)	4,0

Quadro 2: Condições empregadas no branqueamento da polpa de eucalipto industrial deslignificação com oxigênio, para o fator kappa 0,12.

Condições	D*	EP(1)	D(1,1)	D(1,2)	EP(2)	D(2,1)	D(2,2)
Consistência(%)	10	10	10	10	10	10	10
Tempo(min)	60	90	120	120	90	120	120
Temp. °C	90	75	75	90	90	75	75
Fator Kappa	<b>0,12</b>	—	—	—	—	—	—
ph final	3	11	4,5	4,5	11	4,5	4,5
ClO <sub>2</sub> (kg/t)	12	—	20	20	—	18	18
NaOH (kg/t)	—	15	1	1	15	1	1
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (kg/t)	—	7	—	—	7	—	—
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg/t)	5	—	—	—	—	—	—

Quadro 3: Condições empregadas no branqueamento da polpa de eucalipto industrial deslignificação com oxigênio, para o fator kappa 0,16.

Condições	D*	EP(1)	D(1,1)	D(1,2)	EP(2)	D(2,1)	D(2,2)
Consistência(%)	10	10	10	10	10	10	10
Tempo(min)	60	90	120	120	90	120	120
Temp. °C	90	75	75	90	90	75	75
Fator Kappa	<b>0,16</b>	—	—	—	—	—	—
ph final	3	11	4,5	4,5	11	4,5	4,5
ClO <sub>2</sub> (kg/t)	16	—	18	18	—	16	16
NaOH (kg/t)	—	12	—	—	12	-	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (kg/t)	—	5	—	—	5	—	—
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg/t)	4	—	—	—	—	—	—

Quadro 4: Condições empregadas no branqueamento da polpa de eucalipto industrial deslignificação com oxigênio, para o fator kappa 0,20.

Condições	D*	EP(1)	D(1,1)	D(1,2)	EP(2)	D(2,1)	D(2,2)
Consistência(%)	10	10	10	10	10	10	10
Tempo(min)	60	90	120	120	90	120	120
Temp. °C	90	75	75	90	90	75	75
Fator Kappa	<b>0,20</b>	—	—	—	—	—	—
ph final	3	11	4,5	4,5	11	4,5	4,5
ClO <sub>2</sub> (kg/t)	20	—	15	15	—	12	12
NaOH (kg/t)	—	12			12	-	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (kg/t)	—	5	—	—	5	—	—
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg/t)	2	—	—	—	—	—	—

Quadro 5: Condições empregadas no branqueamento da polpa de eucalipto industrial deslignificação com oxigênio, para o fator kappa 0,24.

Condições	D*	EP(1)	D(1,1)	D(1,2)	EP(2)	D(2,1)	D(2,2)
Consistência(%)	10	10	10	10	10	10	10
Tempo(min)	60	90	120	120	90	120	120
Temp. °C	90	75	75	90	90	75	75
Fator Kappa	<b>0,24</b>	—	—	—	—	—	—
ph final	3	11	4,5	4,5	11	4,5	4,5
ClO <sub>2</sub> (kg/t)	24	—	11	11	—	8	8
NaOH (kg/t)	—	10			10	-	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (kg/t)	—	3	—	—	3	—	—
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg/t)	3	—	—	—	—	—	—

Quadro 6: Condições empregadas no branqueamento da polpa de eucalipto industrial deslignificação com oxigênio, para o fator kappa 0,28.

Condições	D*	EP(1)	D(1,1)	D(1,2)	EP(2)	D(2,1)	D(2,2)
Consistência(%)	10	10	10	10	10	10	10
Tempo(min)	60	90	120	120	90	120	120
Temp. °C	90	75	75	90	90	75	75
Fator Kappa	<b>0,28</b>	—	—	—	—	—	—
ph final	3	11	4,5	4,5	11	4,5	4,5
ClO <sub>2</sub> (kg/t)	28	—	5	5	—	3	3
NaOH (kg/t)	—	10			10	-	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (kg/t)	—	3	—	—	3	—	—
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg/t)	1	—	—	—	—	—	—

Quadro 7: Resultados obtidos na designificação com oxigênio da polpa marrom industrial do percentual de perda de rendimento (PR%), teor de sólidos dissolvidos (SD%), demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e carbono orgânico total (TOC Kg C/t)

Repetição.	PR(%)	SD(%)	DQO(kg O <sub>2</sub> /t)	TOC(kg C/t)
1	1,54	0,93	42,23	20,91
2	1,43	0,91	40,37	20,96
3	1,62	0,94	43,37	21,95
4	1,65	0,96	44,21	22,92
5	1,55	0,92	41,18	20,94

Quadro 8: Resultados da perda de rendimento (PR%), sólidos dissolvidos (SD%), demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e carbono orgânico total (TOC kg C/t) para o primeiro estágio de branqueamento - D\*.

Estagio	FK	Rep	PR%	SD%	DQO (kg O <sub>2</sub> /t)	TOC (kg C/t)
Dhot	0,12	1	1,13	0,24	5,84	2,88
Dhot	0,12	2	1,04	0,25	5,82	2,88
Dhot	0,12	3	0,96	0,25	5,97	2,88
Dhot	0,12	4	1,01	0,25	5,84	2,86
Dhot	0,12	5	1,05	0,24	5,85	2,87
Dhot	0,16	1	1,14	0,25	6,42	2,96
Dhot	0,16	2	1,23	0,25	6,47	2,94
Dhot	0,16	3	1,24	0,26	6,49	2,93
Dhot	0,16	4	1,19	0,25	6,51	2,95
Dhot	0,16	5	1,12	0,25	6,53	2,94
Dhot	0,20	1	1,25	0,26	7,16	3,10
Dhot	0,20	2	1,27	0,26	7,14	3,09
Dhot	0,20	3	1,31	0,27	6,92	3,07
Dhot	0,20	4	1,28	0,27	6,98	3,10
Dhot	0,20	5	1,27	0,26	7,07	3,09
Dhot	0,24	1	1,33	0,27	7,24	3,18
Dhot	0,24	2	1,41	0,26	7,28	3,18
Dhot	0,24	3	1,38	0,28	7,22	3,18
Dhot	0,24	4	1,37	0,27	7,24	3,16
Dhot	0,24	5	1,35	0,26	7,33	3,17
Dhot	0,28	1	1,57	0,29	7,77	3,45
Dhot	0,28	2	1,49	0,28	7,50	3,45
Dhot	0,28	3	1,51	0,28	7,64	3,47
Dhot	0,28	4	1,55	0,27	7,69	3,45
Dhot	0,28	5	1,53	0,27	7,60	3,46

Quadro 9: Resultados da perda de rendimento (PR%), sólidos dissolvidos (SD%), demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e carbono orgânico total (TOC kg C/t) para o segundo estágio de branqueamento – (EP)

Estágio	FK	Temp. (EP) °C	Rep.	PR%	SD%	DQO (kg O <sub>2</sub> /t)	TOC (kg C/t)
EP	0,12	75	1	1,35	0,21	4,31	2,15
EP	0,12	75	2	1,34	0,2	4,29	2,17
EP	0,12	75	3	1,35	0,22	4,32	2,14
EP	0,12	75	4	1,35	0,22	4,33	2,14
EP	0,12	75	5	1,37	0,22	4,31	2,17
EP	0,12	90	1	1,57	0,22	4,82	2,41
EP	0,12	90	2	1,59	0,23	4,82	2,37
EP	0,12	90	3	1,55	0,24	4,80	2,41
EP	0,12	90	4	1,69	0,23	4,85	2,40
EP	0,12	90	5	1,68	0,22	4,83	2,37
EP	0,16	75	1	1,25	0,19	3,91	2,04
EP	0,16	75	2	1,25	0,18	3,95	2,02
EP	0,16	75	3	1,10	0,19	3,94	2,00
EP	0,16	75	4	1,11	0,19	3,92	2,01
EP	0,16	75	5	1,15	0,19	3,95	2,03
EP	0,16	90	1	1,6	0,21	4,37	2,15
EP	0,16	90	2	1,58	0,21	4,36	2,13
EP	0,16	90	3	1,63	0,22	4,39	2,13
EP	0,16	90	4	1,65	0,2	4,37	2,15
EP	0,16	90	5	1,64	0,2	4,36	2,14
EP	0,20	75	1	1,07	0,19	3,78	1,90
EP	0,20	75	2	1,02	0,18	3,79	1,92
EP	0,20	75	3	1,06	0,19	3,85	1,90
EP	0,20	75	4	1,09	0,18	3,81	1,92
EP	0,20	75	5	1,09	0,17	3,79	1,91
EP	0,20	90	1	1,5	0,19	4,18	2,09
EP	0,20	90	2	1,44	0,19	4,17	2,06
EP	0,20	90	3	1,43	0,18	4,16	2,08
EP	0,20	90	4	1,42	0,19	4,15	2,06
EP	0,20	90	5	1,47	0,19	4,14	2,10
EP	0,24	75	1	1,02	0,17	3,66	1,76
EP	0,24	75	2	1,03	0,17	3,65	1,75
EP	0,24	75	3	1,1	0,16	3,63	1,73
EP	0,24	75	4	1,07	0,17	3,71	1,76
EP	0,24	75	5	1,05	0,16	3,72	1,76
EP	0,24	90	1	1,26	0,18	4,06	1,90
EP	0,24	90	2	1,25	0,17	4,07	1,92
EP	0,24	90	3	1,24	0,18	4,12	1,89
EP	0,24	90	4	1,3	0,18	4,05	1,94
EP	0,24	90	5	1,28	0,17	4,09	1,89
EP	0,28	75	1	0,98	0,15	3,42	1,65
EP	0,28	75	2	0,95	0,13	3,40	1,63
EP	0,28	75	3	1,01	0,15	3,38	1,61
EP	0,28	75	4	0,96	0,14	3,41	1,63
EP	0,28	75	5	1	0,15	3,43	1,63
EP	0,28	90	1	1,19	0,15	3,71	1,81
EP	0,28	90	2	1,24	0,16	3,75	1,80
EP	0,28	90	3	1,241	0,17	3,76	1,77
EP	0,28	90	4	1,25	0,16	3,74	1,80
EP	0,28	90	5	1,26	0,17	3,76	1,84

Quadro 10: Resultados da perda de rendimento (PR%), sólidos dissolvidos (SD%), demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e carbono orgânico total (TOC kg C/t) para o último estágio de branqueamento – D à temperatura de 75°C.

Estágio	FK	Temp. (EP) °C	Rep.	PR%	SD%	DQO (kg O <sub>2</sub> /t)	TOC (kg C/t)
Dfinal	0,12	75	1	0,85	0,14	4,36	2,18
Dfinal	0,12	75	2	0,77	0,15	4,45	2,16
Dfinal	0,12	75	3	0,97	0,13	4,40	2,15
Dfinal	0,12	75	4	0,86	0,14	4,45	2,13
Dfinal	0,12	75	5	0,79	0,13	4,40	2,11
Dfinal	0,12	90	1	0,57	0,11	3,65	1,75
Dfinal	0,12	90	2	0,77	0,12	3,71	1,75
Dfinal	0,12	90	3	0,79	0,12	3,72	1,75
Dfinal	0,12	90	4	0,68	0,13	3,62	1,74
Dfinal	0,12	90	5	0,65	0,11	3,68	1,74
Dfinal	0,16	75	1	0,68	0,11	3,86	1,85
Dfinal	0,16	75	2	0,77	0,11	3,87	1,87
Dfinal	0,16	75	3	0,83	0,12	3,84	1,82
Dfinal	0,16	75	4	0,76	0,13	3,87	1,84
Dfinal	0,16	75	5	0,73	0,11	3,84	1,86
Dfinal	0,16	90	1	0,77	0,1	3,27	1,53
Dfinal	0,16	90	2	0,55	0,09	3,27	1,57
Dfinal	0,16	90	3	0,60	0,09	3,24	1,54
Dfinal	0,16	90	4	0,65	0,1	3,24	1,56
Dfinal	0,16	90	5	0,72	0,11	3,25	1,55
Dfinal	0,20	75	1	0,71	0,11	3,35	1,59
Dfinal	0,20	75	2	0,83	0,1	3,31	1,61
Dfinal	0,20	75	3	0,77	0,09	3,33	1,61
Dfinal	0,20	75	4	0,71	0,1	3,35	1,59
Dfinal	0,20	75	5	0,74	0,09	3,36	1,60
Dfinal	0,20	90	1	0,43	0,08	2,74	1,38
Dfinal	0,20	90	2	0,31	0,07	2,99	1,38
Dfinal	0,20	90	3	0,55	0,08	2,97	1,39
Dfinal	0,20	90	4	0,40	0,08	2,87	1,42
Dfinal	0,20	90	5	0,41	0,07	2,89	1,41
Dfinal	0,24	75	1	0,50	0,08	2,81	1,34
Dfinal	0,24	75	2	0,58	0,08	2,79	1,37
Dfinal	0,24	75	3	0,51	0,07	2,84	1,39
Dfinal	0,24	75	4	0,62	0,07	2,82	1,35
Dfinal	0,24	75	5	0,49	0,08	2,82	1,35
Dfinal	0,24	90	1	0,28	0,07	2,67	1,28
Dfinal	0,24	90	2	0,33	0,06	2,69	1,28
Dfinal	0,24	90	3	0,41	0,06	2,68	1,28
Dfinal	0,24	90	4	0,36	0,07	2,66	1,29
Dfinal	0,24	90	5	0,39	0,06	2,68	1,28
Dfinal	0,28	75	1	0,25	0,07	2,16	1,01
Dfinal	0,28	75	2	0,19	0,06	2,15	1,03
Dfinal	0,28	75	3	0,20	0,07	2,17	1,04
Dfinal	0,28	75	4	0,31	0,06	2,18	1,05
Dfinal	0,28	75	5	0,28	0,07	2,16	1,04
Dfinal	0,28	90	1	0,19	0,07	1,95	0,93
Dfinal	0,28	90	2	0,17	0,06	1,93	0,90
Dfinal	0,28	90	3	0,15	0,07	1,93	0,96
Dfinal	0,28	90	4	0,17	0,06	1,92	0,93
Dfinal	0,28	90	5	0,20	0,06	1,94	0,94

Quadro 11: Resultados da perda de rendimento (PR%), sólidos dissolvidos (SD%), demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e carbono orgânico total (TOC kg C/t) para o último estágio de branqueamento – D à temperatura de 90°C.

Estágio	FK	Temp. (EP) °C	Rep.	PR%	SD%	DQO (kg O <sub>2</sub> /t)	TOC (kg C/t)
Dfinal	0,12	75	1	0,98	0,15	4,92	2,33
Dfinal	0,12	75	2	1,07	0,16	4,85	2,32
Dfinal	0,12	75	3	0,88	0,14	4,89	2,31
Dfinal	0,12	75	4	0,93	0,15	4,81	2,32
Dfinal	0,12	75	5	0,95	0,16	4,81	2,32
Dfinal	0,12	90	1	0,75	0,13	4,66	2,26
Dfinal	0,12	90	2	0,77	0,13	3,14	2,19
Dfinal	0,12	90	3	0,94	0,14	3,14	2,23
Dfinal	0,12	90	4	0,85	0,15	4,67	2,21
Dfinal	0,12	90	5	0,83	0,15	4,62	2,20
Dfinal	0,16	75	1	0,78	0,12	4,29	2,06
Dfinal	0,16	75	2	0,88	0,13	4,29	2,05
Dfinal	0,16	75	3	0,83	0,11	4,31	2,06
Dfinal	0,16	75	4	0,80	0,12	4,27	2,05
Dfinal	0,16	75	5	0,82	0,12	4,31	2,07
Dfinal	0,16	90	1	0,74	0,12	4,01	1,88
Dfinal	0,16	90	2	0,75	0,11	4,01	1,93
Dfinal	0,16	90	3	0,68	0,11	4,00	1,90
Dfinal	0,16	90	4	0,72	0,13	3,98	1,91
Dfinal	0,16	90	5	0,70	0,12	4,01	1,92
Dfinal	0,20	75	1	0,66	0,09	3,61	1,70
Dfinal	0,20	75	2	0,60	0,08	3,65	1,66
Dfinal	0,20	75	3	0,61	0,09	3,63	1,71
Dfinal	0,20	75	4	0,64	0,08	3,56	1,69
Dfinal	0,20	75	5	0,60	0,08	3,53	1,71
Dfinal	0,20	90	1	0,59	0,09	3,65	1,78
Dfinal	0,20	90	2	0,72	0,1	3,68	1,77
Dfinal	0,20	90	3	0,62	0,09	3,72	1,78
Dfinal	0,20	90	4	0,66	0,09	3,74	1,77
Dfinal	0,20	90	5	0,71	0,08	3,67	1,79
Dfinal	0,24	75	1	0,32	0,07	3,14	1,51
Dfinal	0,24	75	2	0,39	0,08	3,13	1,50
Dfinal	0,24	75	3	0,43	0,08	3,15	1,49
Dfinal	0,24	75	4	0,45	0,08	3,12	1,52
Dfinal	0,24	75	5	0,49	0,08	3,14	1,51
Dfinal	0,24	90	1	0,42	0,08	3,24	1,56
Dfinal	0,24	90	2	0,36	0,09	3,24	1,56
Dfinal	0,24	90	3	0,41	0,08	3,22	1,53
Dfinal	0,24	90	4	0,43	0,08	3,24	1,54
Dfinal	0,24	90	5	0,41	0,09	3,24	1,55
Dfinal	0,28	75	1	0,34	0,07	2,61	1,27
Dfinal	0,28	75	2	0,28	0,08	2,60	1,25
Dfinal	0,28	75	3	0,35	0,07	2,63	1,22
Dfinal	0,28	75	4	0,39	0,07	2,59	1,25
Dfinal	0,28	75	5	0,37	0,08	2,63	1,24
Dfinal	0,28	90	1	0,23	0,08	2,86	1,37
Dfinal	0,28	90	2	0,22	0,08	2,87	1,38
Dfinal	0,28	90	3	0,27	0,07	2,85	1,38
Dfinal	0,28	90	4	0,25	0,07	2,88	1,36
Dfinal	0,28	90	5	0,25	0,07	2,85	1,36



Quadro 12: Resultados da perda de rendimento (PR%), sólidos dissolvidos (SD%), demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e carbono orgânico total (TOC kg C/t) para o branqueamento pela sequência D\*(EP)D, para a temperatura de 75°C no último estágio.

FK	Temp. (EP)°C	Temp. D°C	Rep.	PR%	SD%	DQO (kg O <sub>2</sub> /t)	TOC (kg C/t)
0,12	75	75	1	3,43	0,59	14,51	7,21
0,12	75	75	2	3,25	0,6	14,56	7,21
0,12	75	75	3	3,48	0,58	14,69	7,17
0,12	75	75	4	3,32	0,61	14,62	7,13
0,12	75	75	5	3,11	0,56	14,57	7,14
0,12	90	75	1	3,15	0,57	14,30	7,09
0,12	90	75	2	3,25	0,6	14,34	6,96
0,12	90	75	3	3,30	0,61	14,49	7,14
0,12	90	75	4	3,14	0,61	14,31	6,91
0,12	90	75	5	2,97	0,57	14,36	6,98
0,16	75	75	1	3,37	0,55	14,19	6,81
0,16	75	75	2	3,25	0,54	14,33	6,82
0,16	75	75	3	3,05	0,57	14,27	6,76
0,16	75	75	4	3,06	0,57	14,30	6,81
0,16	75	75	5	3,00	0,55	14,35	6,83
0,16	90	75	1	3,51	0,56	14,05	6,63
0,16	90	75	2	3,36	0,55	14,10	6,84
0,16	90	75	3	3,47	0,57	14,12	6,51
0,16	90	75	4	3,49	0,55	14,12	6,66
0,16	90	75	5	3,48	0,56	14,14	6,72
0,20	75	75	1	3,43	0,56	14,29	6,60
0,20	75	75	2	2,72	0,54	14,24	6,61
0,20	75	75	3	2,74	0,55	14,10	6,58
0,20	75	75	4	3,55	0,55	14,13	6,61
0,20	75	75	5	3,30	0,52	14,22	6,60
0,20	90	75	1	3,18	0,53	14,09	6,57
0,20	90	75	2	3,02	0,52	14,30	6,49
0,20	90	75	3	3,29	0,53	14,06	6,64
0,20	90	75	4	3,10	0,54	14,00	6,55
0,20	90	75	5	3,15	0,52	14,10	6,60
0,24	75	75	1	2,92	0,52	13,71	6,27
0,24	75	75	2	3,12	0,51	13,72	6,30
0,24	75	75	3	2,99	0,51	13,69	6,29
0,24	75	75	4	3,06	0,51	13,76	6,26
0,24	75	75	5	2,89	0,5	13,88	6,28
0,24	90	75	1	2,87	0,52	13,97	6,43
0,24	90	75	2	2,99	0,49	14,03	6,50
0,24	90	75	3	3,03	0,52	14,02	6,39
0,24	90	75	4	3,03	0,52	13,95	6,34
0,24	90	75	5	3,02	0,49	14,10	6,34
0,28	75	75	1	2,89	0,51	13,35	6,12
0,28	75	75	2	2,72	0,47	13,05	6,11
0,28	75	75	3	2,87	0,5	13,19	6,12
0,28	75	75	4	2,90	0,47	13,28	6,13
0,28	75	75	5	2,90	0,49	13,19	6,13
0,28	90	75	1	2,46	0,51	13,48	5,27
0,28	90	75	2	3,00	0,5	13,19	5,25
0,28	90	75	3	3,17	0,52	13,32	5,24
0,28	90	75	4	2,97	0,49	13,35	5,25
0,28	90	75	5	2,79	0,5	13,30	5,29

Quadro 13: Resultados da perda de rendimento (PR%), sólidos dissolvidos (SD%), demanda química de oxigênio (DQO kg O<sub>2</sub>/t) e carbono orgânico total (TOC kg C/t) para o branqueamento pela sequência D\*(EP)D, para a temperatura de 90°C no último estágio.

FK	Temp. (EP)°C	Temp. D°C	Rep.	PR%	SD%	DQO (kg O <sub>2</sub> /t)	TOC (kg C/t)
0,12	75	90	1	3,88	0,6	15,07	7,36
0,12	75	90	2	3,70	0,61	14,96	7,37
0,12	75	90	3	3,39	0,59	15,17	7,34
0,12	75	90	4	3,63	0,62	14,98	7,32
0,12	75	90	5	3,48	0,59	14,98	7,35
0,12	90	90	1	3,65	0,59	15,31	7,60
0,12	90	90	2	3,40	0,61	13,77	7,40
0,12	90	90	3	3,45	0,63	13,91	7,62
0,12	90	90	4	3,55	0,63	15,36	7,38
0,12	90	90	5	3,36	0,61	15,30	7,44
0,16	75	90	1	3,47	0,56	14,62	7,02
0,16	75	90	2	3,36	0,56	14,75	7,00
0,16	75	90	3	3,05	0,56	14,74	7,00
0,16	75	90	4	3,10	0,56	14,71	7,01
0,16	75	90	5	3,09	0,56	14,83	7,04
0,16	90	90	1	3,48	0,58	14,80	6,98
0,16	90	90	2	3,56	0,57	14,84	7,20
0,16	90	90	3	3,55	0,59	14,88	6,86
0,16	90	90	4	3,56	0,58	14,86	7,01
0,16	90	90	5	3,46	0,57	14,90	7,09
0,20	75	90	1	3,08	0,54	14,55	6,71
0,20	75	90	2	2,89	0,52	14,58	6,67
0,20	75	90	3	3,18	0,55	14,40	6,67
0,20	75	90	4	3,11	0,53	14,34	6,70
0,20	75	90	5	3,06	0,51	14,38	6,71
0,20	90	90	1	3,34	0,54	14,99	6,97
0,20	90	90	2	3,43	0,55	14,99	6,89
0,20	90	90	3	3,36	0,54	14,80	7,03
0,20	90	90	4	3,36	0,55	14,86	6,90
0,20	90	90	5	3,45	0,53	14,88	6,98
0,24	75	90	1	2,74	0,51	14,04	6,45
0,24	75	90	2	2,93	0,51	14,06	6,43
0,24	75	90	3	2,91	0,52	14,00	6,39
0,24	75	90	4	2,89	0,52	14,06	6,43
0,24	75	90	5	2,89	0,5	14,20	6,43
0,24	90	90	1	3,31	0,53	14,54	6,72
0,24	90	90	2	3,32	0,52	14,58	6,79
0,24	90	90	3	3,23	0,54	14,56	6,64
0,24	90	90	4	3,35	0,53	14,53	6,59
0,24	90	90	5	3,34	0,52	14,66	6,61
0,28	75	90	1	2,80	0,51	13,80	6,38
0,28	75	90	2	2,63	0,49	13,50	6,33
0,28	75	90	3	2,72	0,5	13,64	6,30
0,28	75	90	4	2,82	0,48	13,69	6,33
0,28	75	90	5	2,81	0,5	13,65	6,33
0,28	90	90	1	2,77	0,52	14,40	6,64
0,28	90	90	2	3,15	0,52	14,13	6,63
0,28	90	90	3	3,29	0,52	14,25	6,62
0,28	90	90	4	3,10	0,5	14,31	6,62
0,28	90	90	5	2,94	0,51	14,21	6,65